

科學圖書大庫

基礎電晶體學自修叢書(二)

基本電晶體電路

譯者 吳振名

徐氏基金會出版

石油大學(北京)

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪壽氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文學科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

譯者序

電晶體及其相關半導體器件的發明，是第二次世界大戰以來，電子學領域內，最具革命性的進展。電晶體因為體積小，功率消耗少，已被用以取代電子電路中的真空管。大的系統中，如數位計算機，使用半導體後，可以執行更多的操作和功能，而所佔體積仍比真空管小，故影響非常深遠，及於許多其他領域。

本書介紹電晶體操作的基本原理。重點放在強調電晶體作為電路元素時是一種控制器件——本身不產生電能，而將電源供給的電流，在輸入電流的指令之下，調節成輸出電流。

此外，並討論放大器和振盪器的基本操作與代表性電路，以及最新的半導體器件。

本書的設計，著眼於使學習過程儘可能容易，實是初學者最佳的自修課本，讀者必可從此書獲得清晰的概念。即使是有基礎者也可從中得到一些未曾想到的新觀念。

目 錄

譯者序

第一章 基本觀念簡介

系統考慮事項	1
電晶體作為主動元件	6
本書內容概要	7
摘要問題	8
摘要答案	8

第二章 電晶體原理

半導體物理	9
P-N 接面	15
電晶體的操作方式	20
摘要問題	28
摘要答案	29

第三章 基本電路組態

電路單元	30
電路組態	32
共射極	35
共基極	41
共集極	44
組態的比較	47
特性曲線	49
操作極限	54
電功率耗散	55
摘要問題	56
摘要答案	57

第四章 電晶體放大電路

放大器的種類	59
A 類放大器	62
B 類放大器	70
C 類放大器	74
一般說明	77
耦合網路	78
摘要問題	84
摘要答案	85

第五章 電晶體振盪電路

振盪器的重要任務	86
基本原理	88
振盪器的型式	90
LC 振盪器	92
晶體控制振盪器	95
RC 振盪器	97
弛緩振盪器	100
摘要問題	103
摘要答案	104

第六章 特殊器件

肖納兩極體	106
矽控整流器	114
單接面電晶體	118
場效應電晶體	123
摘要問題	131
摘要答案	132

總測驗

第一章 基本觀念簡介

本章所討論的內容包括關於電晶體電路的重要觀念和想法，以及接上輸入信號和電源產生輸出信號的方法。讀者將會學到，把電晶體電路當作一個轉換裝置——藉著電源供給電流，將輸入信號轉換成輸出信號。能夠完全領悟基本電流的路徑對於明瞭各種電路的操作很有幫助，並可提供學習故障檢修技術良好的基礎。

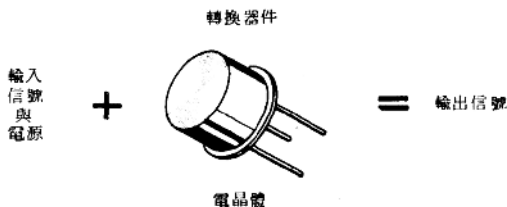


圖 1-1 電晶體是轉換器件

系統考慮事項

在我們開始討論各種特殊作用的個體電路之前，先討論下一個整體的電路系統操作時，所必須具備的各種基本單元。本章的討論具有普遍性，可應用到各種情形，目的是爲了指出系統中各單元間的關係。

基本單元 任何電子系統操作時，所必須具備的基本單元包括：一個輸入信號源，一個吸收輸出信號的負載，一個電源，以及執行各種作用以產生所須輸出信號的電路。圖 1-2 所表示的就是這些單元。本書所討論的是最後一項，即執行各種作用的電晶體電路。因此，在本書內，大部份的敘述都不再討論到電源，輸入信號源，以及輸出負載等，而將它們視爲正常無誤。但是有

一點應特別注意的是，實際在檢修故障的裝置時，一定要先由電源和輸入信號檢查起，不可將它們視為正常。

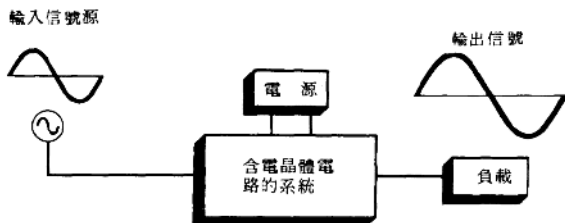


圖 1-2 電子系統的基本單元

圖 1-2 所示的基本單元可應用至各種尺寸和各種型式的系統上。一架電視機、電唱機，或者一架無線電接收機全都含有輸入—輸出信號，電源，以及執行各種作用的電路。甚至極大型的數位計算機中，雖然含有數以千計的電晶體，也可細分為許多個次系統，而每一個次系統各含有自己的輸入—輸出信號。不論系統多大，祇要將它細分成較小的次系統，即可明瞭全部的作業狀況。若此種細分程序繼續不斷，最後必可到達每一級電晶體各有其輸入—輸出信號的狀態。本書將使用單一級作為解釋的單元，而推展出電晶體操作的理論。將這些單一級的個體電路逐次連接形成一個系統，在理論上說，是決不會發生問題的。注意，這時每一個電路的輸出信號就會變成下一個電路的輸入信號。

儘量多學習輸入 輸出信號的特性，是一種很好的訓練。因為藉著比較輸入信號和輸出信號的關係，我們就可知道許多有關電路性質的情形。例如，圖 1-2 中，輸出信號很明顯的是輸入信號的放大。則令輸入信號現此種作用的電路即稱為放大器。至於輸入信號通過電路後，輸出信號如何放大，則屬於電晶體基本運作的中心部份。我們鼓勵讀者在學習任何電晶體電路時，都能將輸入信號和輸出信號記在心中。

基本單元間實際上的關連將於下一節中提到。讀者必須完全了解本節所提到的各種基本單元一起操作的方式才行。這是非常重要的。祇要明瞭這些基礎知識，則在學習操作原理之時，任何裝置不管大小，都不會發生額外的問題。

問題 1-1 一個裝置工作不正常時，所應檢驗的第一個項目是_____，因為它是所有電路的電流源。

問題 1-2 是否一個系統愈大，則其個體電路必定愈複雜瑣碎？為何？

問題 1-3 一個系統，其輸出信號大於其輸入信號很多，則稱為_____。

你的答案應該是

答案 1-1 一個裝置工作不正常時，所應檢驗的第一個項目是電源，因為它是所有電路的電流源。

答案 1-2 否，一個系統的大小並不表示其個體電路的複雜度。常常有下述的情形發生：一個小系統含有某些高等電路，而一個大系統，例如某些數位計算機，可能祇是由許多的簡單的基本電路互相連接組成而已。

答案 1-3 一個系統，其輸出信號大於其輸入信號很多，則稱為放大器。

電晶體作為控制元件 電晶體是電路中控制電流通過其他部份的零件。圖 1-3 表示前節介紹過的基本單元間的內部連接情形。它不是實際的工作電路，而僅是表示系統各單元之間電流路徑的圖解而已。

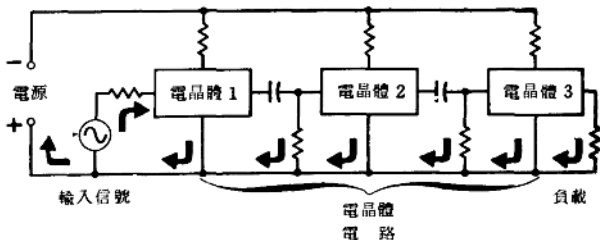


圖 1-3 系統單元之間的基本電流路徑

電流控制 控制電流通過各種電晶體電路的方法將於下一章中談及。現在這兒，有一點很重要而應注意的是，除了輸入信號之外，所有的電流都是由電源所供給的。每一個電晶體的作用，祇是調節或控制從電源流出而通過自身的電流量而已。藉著控制流經自身的電流，電晶體也同時控制了流經電路中各種電阻器和其他零件的電流。如此一來，所需要的電壓可建立在電路中的各相異點上，同時完成各種作用，例如放大作用等。電晶體可以想像成一個

轉換元件——在輸入電流的控制之下，將電源所供給的電流轉換成所需要的輸出電流。

圖解中所顯示的電流係從電源的一端，流經各級電晶體和負載，並返回電源的另一端，完成一個完整的路徑。電源端點所表示的極性，意謂著箭頭所指的方向是電子流的方向。此種符號規定可適用於全書各部份。

由圖中所示的內部連接情形，可看到輸入信號流入電晶體 1，而從電源帶走部份電流，並產生一個信號成爲電晶體 2 的輸入信號。這種因果關係一直繼續至最後一個電晶體，而由最後一個電晶體將所需要的信號輸送至負載。下一節的討論可幫助讀者更進一步瞭解這些基本想法。

問題 1-4 電晶體將由電源所供給的_____轉換成所需要的輸出電流。

問題 1-5 電子流從電源的_____端流出，而流入電源的_____端。

你的答案應該是：

答案 1-4 電晶體將由電源所供給的電流轉換成所需要的輸出電流。

答案 1-5 電子流從電源的負端流出，而流入電源的正端。

輸入信號 電晶體的輸入信號是電流。此種說法可能有點引人爭論，因爲電流實際上就是一個電壓加至一個電阻上所得的結果。所以電壓應該也可被認爲是輸入信號。但是在實際的應用時，使用電流觀念益處較多。利用電流觀念，不僅有助於處理電晶體操作時所涉及的物理，而且在討論電路操作時，更是實用。

圖 1-4 表示某些典型的輸入電流源。電視機或收音機天線截取電磁場的能量而產生電流，推動接收機的第一級。電唱機機臂則由唱頭產生電流，作爲輸入電流。這些例子，都是由外面信號源輸入電流饋進系統中。

輸出信號 我們使用某一特定系統的唯一理由是因爲此特定系統可產生我們所需要的輸出信號。圖中表示電唱機或收音機的電路，目的在供給揚聲器信號。至於電視機電路則不僅供應一個信號至揚聲器，而且也供應信號至影像管。供應負載的輸出電流實際上是從電源出來，而由輸出級電晶體所控制而調節的。在大部份的情形中，一個電路系統內，某一級的輸出電流實際上是作爲下一級的輸入電流。

電源 所有消耗於系統中或傳送到負載的功率，都是由電源所供應的。此可從以前提到的事實中看出，即所有電流都是由電源供給，電晶體實際上並沒有供給任何功率。

本書不討論電源的設計，而假設我們所需要的任何電源均可製造，而能

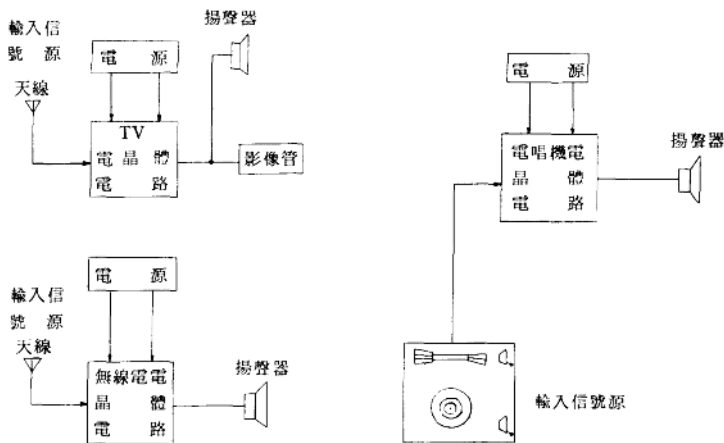


圖 1-4 系統例

在我們所要求的電壓狀況下，供給必要的電流。大部份情形下，電源可用一對標為+和-的端點表示。如此並不影響電路的討論。

問題 1-6 將左邊標有數目的項目用右邊最適當的項目配合起來。標有文字的項目不一定要全用。

- | | |
|----------|-------------------|
| 1. 電源 | A. 受輸出電晶體控制 |
| 2. 負載電流 | B. 供應系統中所有電流 |
| 3. 電晶體電路 | C. 不須外在電源 |
| 4. 輸入電流 | D. 輸出信號是輸入信號的放大重現 |
| 5. 放大器 | E. 原先由輸出電晶體供應 |
| | F. 調節電晶體帶走的電流 |
| | G. 電流一一轉換元件 |

你的答案應該是：

答案 1-6 1. B 2. A 3. G 4. F 5. D

電晶體作為主動元件

本節將說明存在於最普通的被動元件（電阻器）和主動元件（電晶體）間電流控制方面的差別。在這方面，若將電晶體視為轉換元件，更容易使人瞭解。

假如圖 1-5 A 所示，於一個電阻器兩端放置一個電池。依照歐姆定律，就會出現一定量的電流。此電流視 E 和 R 的比值而定。假使 E 和 R 固定不變，則 I 為常數。若一個可變電阻器與原來的電阻器串聯，如圖 1-5 B 所示，則電流視 E ， R 和 R_{VAR} 而定。改變 R_{VAR} 的電阻，就可改變流經 R 和 R_{VAR} 的電流。因此， R 和 R_{VAR} 接點的電壓也因之而改變。

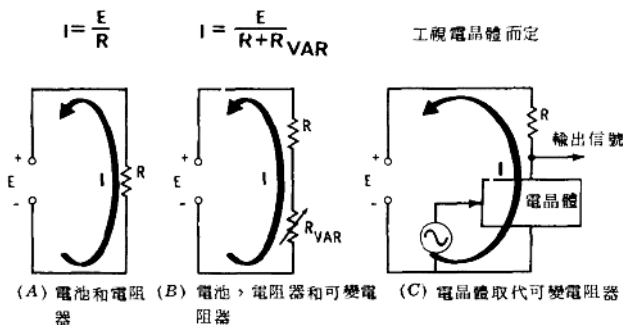


圖 1-5 電晶體作為控制元件

下一步就是用一電晶體取代可變電阻器。這時的電路如圖 1-5 C 所示。現在代替可變電阻器調節電流的是電晶體。這時，不必像用手調整可變電阻器以得所需要的電壓一樣，可用加於電晶體的輸入電壓，改變流經 R 和電晶體的電流。電流將依輸入信號而改變，就如圖 1-5 B 中，依可變電阻器的手動調整而改變電流一樣。 R 和電晶體接點的電壓亦依電流而改變。這個電壓就是輸出信號。

有幾個要點需要特別強調：電晶體不祇是一個簡單的可變電阻器而已。此種相似（並且所有相似都有缺點）祇是用來說明電晶體在輸入信號的操作之下，可以控制或調節流經電路的電流而已。注意，標有 I 的電流（產生輸出信號）是由電源所供給，而不是由電晶體所供給。同時也要注意，標有輸

入信號的電流，並不出現於輸出電路。輸入信號「告訴」電晶體應允許多少電流流過輸出電路。因此電晶體是一個轉換元件——利用電源所供給的電流，將輸入信號轉換成輸出信號。完全了解這些基本觀念，將有助於了解底下各章中有關各種電路的操作。

問題 1-7 圖 1-5 所表示的相似關係中，圖 1-5 C 的_____取代可變電阻器的手動調整，而_____取代了可變電阻器本身。

問題 1-8 電流不是由電晶體供應，而是由電晶體_____。

問題 1-9 電晶體可以想像成一_____元件。

問題 1-10 電晶體利用電源所供給的電流，將_____信號轉換成_____信號。

你的答案應該是：

答案 1-7 圖 1-5 所示的相似關係中，圖 1-5 C 的輸入信號取代可變電阻器的手動調整，而電晶體取代了可變電阻器本身。

答案 1-8 電流不是由電晶體供應，而是由電晶體調節。

答案 1-9 電晶體可以想像成一轉換元件。

答案 1-10 電晶體利用電源所供給的電流，將輸入信號轉換成輸出信號。

本書內容概要

本書由前至後，都是從一些簡單的觀念開始，出發到較實際的應用。因為電晶體的操作和半導體物理有關，所以書內亦含有足夠了解電晶體操作所需要的討論。當實際研討電路時，內部發生的物理事件通常不如分析流進和流出電晶體的電流有用。但是，物理的討論是重要的，尤其是要表示電晶體的各种電性質限制和額定值時，更是必要。

討論過半導體後，接著會談到「如何」操作電晶體。而於討論三種電路組態時，並詳細描述基本電流路徑，使讀者可迅速學會各種電路組態。這些基本電路組態，除了有詳細的推展之外，同時並解釋了有關特性曲線和操作極限的觀念。有了基本電路的基礎之後，再討論各級放大器及介紹各種耦合網路。

第 5 章和第 6 章處理放大器之外的電路。各種振盪器均有詳細的描述和分析。脈波電路和交換電路亦包括在內，另外書內還涉及電晶體以外的半導體元件及其各種電路應用。

摘要問題

1. 本章介紹電晶體作為轉換元件。輸入——輸出信號，電路本身，以及電源等基本單元也有介紹。電晶體電路利用電源所供給的電流，將輸入信號轉換成輸出信號。應強調的是，電晶體本身並不供應任何電流或功率，而祇是調節或控制電源所供給的電流而已。
 - a. 電晶體的基本作用是控制或調節由_____所供給的_____。
 - b. 利用轉換作用，電晶體可從_____信號產生_____信號。
2. 為了幫助讀者進一步了解電晶體的轉換元件特性，電晶體和可變電阻器間的相似性，本節中亦有說明。由這個相似性顯示，正如電流可用手動調整電阻器值予以改變一樣，電流亦可用輸入信號控制電晶體而使之改變。
 - a. 因為電晶體不會產生自己的功率，所以若無_____，操作是不可能進行的。

摘要答案

1.
 - a. 電晶體的基本作用是控制或調節由電源所供給的電流。
 - b. 利用轉換作用，電晶體可從輸入信號產生輸出信號。
2.
 - a. 因為電晶體不會產生自己的功率，所以若無電源，操作是不可能進行的。

第二章 電晶體原理

想瞭解電晶體內部的傳導機構，一定要先具備物質結構的基本知識。尤其半導體，更是應該要熟悉才行。本章一開始先複習物質的結構和半導體原理。讀者將在本章中學到為何半導體材料中加進其他物質，可以形成兩極體或電晶體的晶體。此外本章也將討論N型和P型半導體材料，並利用N型和P型材料間接面的性質，製造半導體兩極體。

單獨的P-N 接面理論可推廣至兩個接面，製成電晶體。讀者將學到，為何數節P型和N型材料可形成電晶體。並學到依照P型和N型材料的排列狀況而將電晶體分類的方式，以及電晶體內部產生電流的情形。

電晶體內部工作的情形解釋過後，接著將介紹電晶體作為電路單元。讀者將學到如何將電晶體連接到一個電源和其他單元（例如電阻器和電容器）上，而形成完整的工作電路。

半導體物理

電晶體是由半導體材料製成的。著手介紹半導體之前，我們先簡單的複習一下原子結構。此複習將有助於認識半導體和其他材料間的關係。

原子結構複習 物質界都是由原子所組成的。我們周圍的每一件東西都是由原子有組織的集合體所構成。原子包括三種基本粒子，即電子、質子和中子。描述原子最簡單的方式，可用下述的模型：原子的中心是一個原子核，由質子和中子組成，原子核的外面是電子，依一定的軌道繞著原子核旋轉，如圖2-1所示。在此應先說明的是，此種模型祇是一種非常基本的想法而已，在我們即將討論到的範圍內，可以視為正確，但在近代物理的範圍內時，則尚須加以若干修正才行。

原子核 原子的中心部份稱為原子核，由數種不同類的粒子組成，其中最重

要的兩種是質子和中子，質子帶有一單位的正電荷。中子不帶電，質子和中子的重量幾乎相等，約等於電子的 1800 倍重。

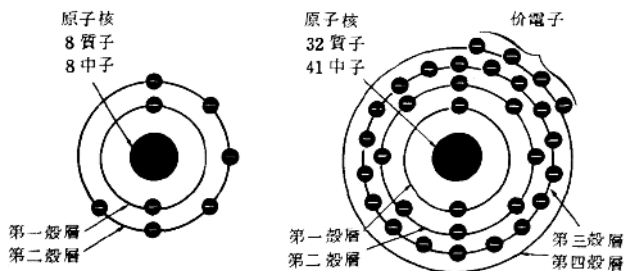


圖 2-1 氧和鉛原子

電子 電子帶負電，以極快的速度繞著原子核旋轉。它們分佈在軌道或殼層上。每一殼層可容納特定數目的電子。最內層可容納兩個電子，第二層可容納八個，第三層可容納十八個，如此繼續下去。電子從最內層開始填入殼層，直到內層完全填滿，才開始填入次層。電子和質子所帶的電荷相等，但符號相反；電子帶負電，質子電正電。每一個原子中，質子的數目必和電子的數目相等，整個原子才能維持電中性。

價電子 大部份元素的最外層電子不會全滿，也就是說，它們最外層的電子數目並不等於可容納的最大電子數目。這些最外層電子稱為價電子。它們和材料的電學和化學性質最有關係。這些不全滿的外電子層使原子的行為活潑，而能和其他原子結合。

由價電子所形成的原子鍵有三，即離子鍵，金屬鍵和共價鍵。這些鍵的型式決定材料的導電度。離子鍵的例子有氯化鈉（鹽）。

金屬鍵存在於電流的良導體中。此種鍵型，價電子和原子的結合力較弱，故價電子可在各個原子之間自由移動。

共價鍵是晶體的特性。每一個原子和其他原子共用價電子，形成一種有規則性的網路，稱為晶格構造。半導體的鍵型即屬於此種鍵。下一節談到鉻晶體時，我們將再加以討論。

問題 2-1 原子的原子核中有兩種重要的粒子，即是 _____ 和 _____。

問題 2-2 _____ 是帶負電的粒子，在分立的軌道上繞著 _____ 旋轉。

問題 2-3 最外層電子決定材料的電學和化學性質，稱為 _____ 電子。

你的答案應該是：

答案 2-1 原子的原子核中有兩種重要的粒子，即是質子和中子。

答案 2-2 電子是帶負電的粒子，在分立的軌道上繞著原子核旋轉。

答案 2-3 最外層電子決定材料的電學和化學性質，稱為價電子。

材料的導電度 導電度是測量材料的導電能力的一種方法。所有材料都可區分為導體，絕緣體，或半導體。

良導體就是具有多數自由電子的材料。一般說來，所有的金屬都是電的良導體。如圖 2-2 所示，銅、鋁和銀更是常被作為導體應用。

絕緣體就是在原子結構中電子移動困難的材料，因此，它們不容易傳導電流。沒有一種材料是完全的絕緣體，但在所有實際用途中，通常有許多種材料被列為絕緣體，最常見的絕緣體有玻璃，木材和雲母等。

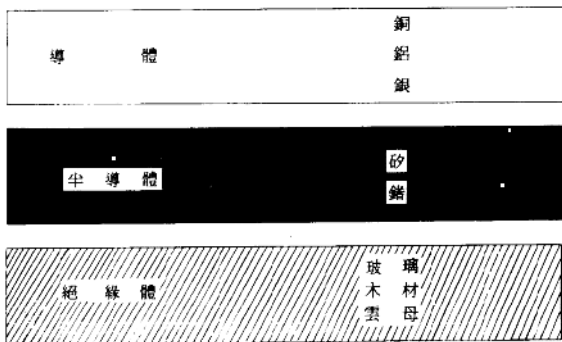
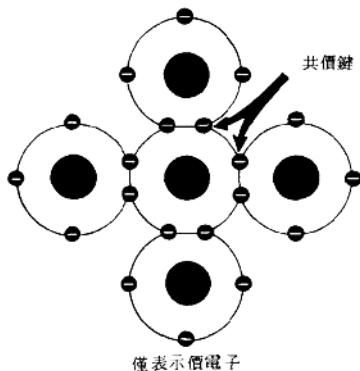


圖 2-2 導體、半導體和絕緣體的例子

介於導體和絕緣體之間的，尚有被稱為半導體的材料。這些材料既不是良導體，也不是絕緣體，而表現出部份的導電性。最令人感到興趣的半導體材料是矽和鍺，這是因為它們也是電晶體材料的緣故。純鍺原子間的共價鍵如圖 2-3 所示。圖中僅表示出價電子。注意相鄰原子如何共用價電子。這些價電子都被束縛住，對電的傳導沒有幫助。我們的問題在於：此種材料為何可以製造電晶體，而其中最重要的部份却是電流？此問題的答案，我們將在



第 2-3 鎘原子的共價鍵

下一節中予以討論。

問題 2-4 材料傳導電流的能力稱為材料的_____。

問題 2-5 那一種材料的導電度較高，銅或雲母？

問題 2-6 半導體如矽和鎘，其特徵是_____鍵，將價電子緊抓在原子上。

你的答案應該是：

答案 2-4 材料傳導電流的能力稱為導電度。

答案 2-5 銅的導電度比雲母高。

答案 2-6 半導體如矽和鎘，其特徵是共價鍵，將價電子緊抓住在原子上。

半導體 如前節所討論的，純鎘的電子被束縛住，對電流的傳導沒有太大的貢獻。但是，若供給足夠的能量，則可打斷共價鍵而放出電子。供應的能量可能是熱的形式。

電洞產生 當電子離開鍵而變成自由電子時，在原來的位置就會留下一個電洞。此種連鎖事件如圖 2-4 所示。產生的電洞會找尋另一電子配對，以填補電洞。通常是從鄰接的原子偷另一個電子而完成。此時，原來的電洞填滿，但被偷走的電子處又形成一新電洞。因為電洞是缺少一個帶負電的電子所形成的，所以可將它想像成一個帶單位電荷的正電荷。電晶體中，電洞的產生